

# GENERATOR FOR OPTICAL MILLIMETER WAVE OR SUB-MILLIMETER WAVE

Publication number: JP2003195380  
 Publication date: 2003-07-09  
 Inventor: HYODO MASAHARU  
 Applicant: COMM RES LAB  
 Classification:  
 - International: G02F2/02; G02F2/00 (IPC1-7): G02F2/02  
 - European:  
 Application number: JP20010400095 20011228  
 Priority number(s): JP20010400095 20011228

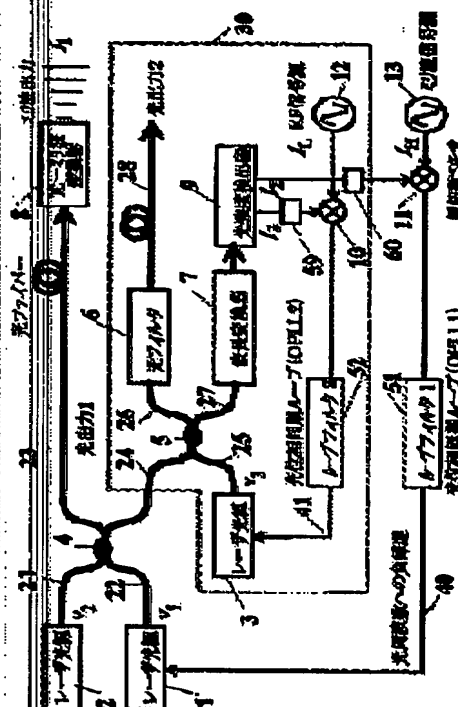
Report a data error here

## Abstract of JP2003195380

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a generator used for an optical millimeter wave or sub-millimeter wave and capable of transmitting a signal exceeding a band used in an amplifier, an optical modulator, or a band light strength detector, or a phase difference detector.

**SOLUTION:** The generator is provided with a means for mixing a first coherent light (frequency  $[\nu]_{\langle SB \rangle 1}$ ) with a second coherent light (frequency  $[\nu]_{\langle SB \rangle 2}$ ) to generate a first electromagnetic wave having the resulting difference frequency ( $[\nu]_{\langle SB \rangle 1} - [\nu]_{\langle SB \rangle 2}$  or  $[\nu]_{\langle SB \rangle 2} - [\nu]_{\langle SB \rangle 1}$ ). In addition, the generator is provided with a means for mixing the first coherent light, the second coherent light, with a third coherent light (frequency  $[\nu]_{\langle SB \rangle 3}$ ); a means for generating a second electromagnetic wave by mixing the first coherent light with the third coherent light; a means for comparing the second electromagnetic wave with a previously determined first high-frequency signal; and a means for adjusting the wavelength of the first coherent light by referring to information obtained by the comparison.

COPYRIGHT: (C)2003, JPO



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2003-195380  
(P2003-195380A)

(43) 公開日 平成15年7月9日 (2003.7.9)

(51) Int.Cl.  
G 0 2 F 2/02

識別記号

F I  
G 0 2 F 2/02データベース(参考)  
2 K 0 0 2

審査請求 有 請求項の数22 O L (全 18 頁)

(21) 出願番号 特願2001-400095(P2001-400095)

(22) 出願日 平成13年12月28日 (2001.12.28)

(71) 出願人 301027471

独立行政法人通信総合研究所  
東京都小金井市真井北町4-2-1

(72) 発明者 兵頭 政春

東京都小金井市真井北町4-2-1 独立  
行政法人通信総合研究所内

(74) 代理人 100082869

弁護士 福田 賢三 (外2名)

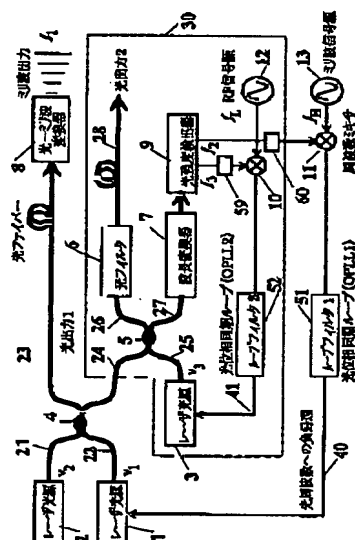
データベース(参考) 2K002 AB12 AB19 BA01 EB15 HA31

(54) 【発明の名称】 光学的ミリ波あるいはサブミリ波の発生装置

(57) 【要約】

【課題】 増幅器や光変調器、あるいは帯域光強度検出器や位相差検出器による帯域を超える信号を伝送することができる光学的ミリ波・サブミリ波発生装置を提供することを目的とする。

【解決手段】 第1のコヒーレント光(周波数 $\nu_1$ )と第2コヒーレント光(周波数 $\nu_2$ )とを混合して、その差周波数( $\nu_1 - \nu_2$ あるいは $\nu_2 - \nu_1$ )を持った第1の電磁波を発生する手段を備えた装置において、さらに、第1のコヒーレント光と第2のコヒーレント光と第3のコヒーレント光(周波数 $\nu_3$ )とを混合する手段と、第1のコヒーレント光と第3のコヒーレント光との混合により第2の電磁波を発生する手段と、該第2の電磁波と予め決められた第1の高周波信号とを比較する手段と、上記の比較により得られた情報により、上記の第1のコヒーレント光の波長を調整する手段と、を備えた構成とする。



(2) 003-195380 (P2003-195380A)

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 第1のコヒーレント光（周波数 $\nu_1$ ）と第2のコヒーレント光（周波数 $\nu_2$ ）とを混合して、その差周波数（ $\nu_1 - \nu_2$ あるいは $\nu_2 - \nu_1$ ）を持った第1の電磁信号を発生する手段を備えた装置において、第1のコヒーレント光と第2のコヒーレント光と第3のコヒーレント光（周波数 $\nu_3$ ）とを混合する手段と、第1のコヒーレント光と第3のコヒーレント光との混合により第2の電磁信号を発生する手段と、該第2の電磁信号と予め決められた第1の高周波信号とを比較する手段と、

上記の比較により得られた情報により、上記の第1のコヒーレント光の波長を調整する手段と、を備えたことを特徴とする光学的ミリ波あるいはサブミリ波の発生装置。

【請求項2】 第1のコヒーレント光（周波数 $\nu_1$ ）と第2のコヒーレント光（周波数 $\nu_2$ ）とを混合して、その差周波数（ $\nu_1 - \nu_2$ あるいは $\nu_2 - \nu_1$ ）を持った第1の電磁信号を発生する手段を備えた装置において、第1のコヒーレント光と第2のコヒーレント光と第3のコヒーレント光（周波数 $\nu_3$ ）とを混合することにより第3の電磁信号を発生する手段と、該第3の電磁信号と予め決められた第2の高周波信号とを比較する手段と、

上記の比較により得られた情報により、第3のコヒーレント光の波長を調整する手段と、を備えたことを特徴とする光学的ミリ波あるいはサブミリ波の発生装置。

【請求項3】 上記の第1のコヒーレント光と第3のコヒーレント光との混合により第2の電磁信号を発生する手段と、

第2の電磁信号と第1の高周波信号とを比較する手段と、

この比較により得られた情報により、第1のコヒーレント光の波長を調整する手段と、を備えたことを特徴とする請求項2に記載の光学的ミリ波あるいはサブミリ波の発生装置。

【請求項4】 重ね合わされた第1のコヒーレント光と第2のコヒーレント光と第3のコヒーレント光とを出力する手段を備えたことを特徴とする請求項3に記載の光学的ミリ波あるいはサブミリ波の発生装置。

【請求項5】 第1のコヒーレント光と第2のコヒーレント光と第3のコヒーレント光とを混合する手段は、非線形光学効果を用いた手段であることを特徴とする、請求項1ないし請求項4のいずれかに記載の光学的ミリ波あるいはサブミリ波の発生装置。

【請求項6】 第2の電磁信号と予め決められた第1の高周波信号とを比較する手段は、第2の電磁信号の位相と第1の高周波信号の位相との差を検出する手段であることを特徴とする、請求項1、3、4あるいは5のいずれかに記載の光学的ミリ波あるいはサブミリ波の発生装置。

置。

【請求項7】 第3の電磁信号と予め決められた第2の高周波信号とを比較する手段は、第3の電磁信号の位相と第2の高周波信号の位相との差を検出する手段であることを特徴とする、請求項2、3、4あるいは5のいずれかに記載の光学的ミリ波あるいはサブミリ波の発生装置。

【請求項8】 第1のコヒーレント光（周波数 $\nu_1$ ）と第2のコヒーレント光（周波数 $\nu_2$ ）とを混合して、その差周波数（ $\nu_1 - \nu_2$ あるいは $\nu_2 - \nu_1$ ）を持った第1の電磁信号を発生する手段を備えた装置において、第1のコヒーレント光を変調して第1のコヒーレント光の側帯波を発生する手段と、第2のコヒーレント光を変調して第2のコヒーレント光の側帯波を発生する手段と、第3のコヒーレント光（周波数 $\nu_3$ ）を変調して第3のコヒーレント光の側帯波を発生する手段と、第1のコヒーレント光の側帯波と第3のコヒーレント光の側帯波との混合により第2の電磁信号を発生する手段、あるいは、第1のコヒーレント光の側帯波と第2のコヒーレント光の側帯波と第3のコヒーレント光の側帯波との混合により第3の電磁信号を発生する手段と、前記第2の電磁信号あるいは第3の電磁信号と予め決められた第1の高周波信号あるいは第2の高周波信号とを比較する手段と、

上記の比較により得られた情報により、上記の第1のコヒーレント光の波長あるいは第3のコヒーレント光の波長をそれぞれ調整する手段と、を備えたことを特徴とする請求項1から7のいずれかに記載の光学的ミリ波あるいはサブミリ波の発生装置。

【請求項9】 上記の混合される第1のコヒーレント光の側帯波の搬送波に対する位置は、混合される第3のコヒーレント光の側帯波の搬送波に対する位置の反対側であり、また、上記の混合される第3のコヒーレント光の側帯波の搬送波に対する位置は、混合される第2のコヒーレント光の側帯波の搬送波に対する位置の反対側であることを特徴とする請求項8に記載の光学的ミリ波あるいはサブミリ波の発生装置。

【請求項10】 第1のコヒーレント光（周波数 $\nu_1$ ）と第2のコヒーレント光（周波数 $\nu_2$ ）とを混合して、その差周波数（ $\nu_1 - \nu_2$ あるいは $\nu_2 - \nu_1$ ）を持った第1の電磁信号を発生する手段を備えた装置において、Nを3以上のいずれかの整数とするとき、

第1から第Nに至るそれぞれのコヒーレント光の伝搬する光路と、

第1のコヒーレント光と第Nのコヒーレント光（周波数 $\nu_N$ ）とを混合する手段と、

第1のコヒーレント光と第Nのコヒーレント光との混合により第2の電磁信号を発生する手段と、

該第2の電磁信号と予め決められた第1の高周波信号とを比較する手段と、

(3) 003-195380 (P2003-195380A)

上記の比較により得られた情報により、上記の第1のコヒーレント光の波長を調整する手段と、を備えたことを特徴とする光学的ミリ波あるいはサブミリ波の発生装置。

【請求項11】 第1のコヒーレント光（周波数 $\nu_1$ ）と第2のコヒーレント光（周波数 $\nu_2$ ）とを混合して、その差周波数（ $\nu_1 - \nu_2$ あるいは $\nu_2 - \nu_1$ ）を持った第1の電磁信号を発生する手段を備えた装置において、Nを3以上のいずれかの整数とし、kを3以上N以下のいずれかの整数とすると、

第1から第Nに至るそれぞれのコヒーレント光の伝搬する光路と、

第1のコヒーレント光から第Nのコヒーレント光（周波数 $\nu_N$ ）までを混合する手段と、

第1のコヒーレント光と第kのコヒーレント光と第(k-1)のコヒーレント光の混合により第kの電磁信号を発生する手段と、

該第kの電磁信号と予め決められた第(k-1)の高周波信号とを比較する手段と、

上記の比較により得られた情報により、第kのコヒーレント光の波長を調整する手段と、を備えたことを特徴とする光学的ミリ波あるいはサブミリ波の発生装置。

【請求項12】 上記の、第1のコヒーレント光と第Nのコヒーレント光との混合により電磁信号を発生する手段と、前記の電磁信号と予め与えられた高周波信号とを比較する手段と、この比較により得られた情報により第1のコヒーレント光の波長を調整する手段と、を備えたことを特徴とする請求項11に記載の光学的ミリ波あるいはサブミリ波の発生装置。

【請求項13】 第1のコヒーレント光（周波数 $\nu_1$ ）と第2のコヒーレント光（周波数 $\nu_2$ ）とを混合して、その差周波数（ $\nu_1 - \nu_2$ あるいは $\nu_2 - \nu_1$ ）を持った第1の電磁信号を発生する手段を備えた装置において、Nを3以上のいずれかの整数とすると、

第1から第Nに至るそれぞれのコヒーレント光の伝搬する光路と、

第2のコヒーレント光の周波数から制御された周波数だけずれた発振周波数をもったコヒーレント光（周波数 $\nu_R$ ）と第Nのコヒーレント光（周波数 $\nu_N$ ）とを混合して、電磁信号を発生する手段と、

前記電磁信号と予め決められた高周波信号とを比較する手段と、

第1のコヒーレント光と第Nのコヒーレント光との周波数差を制御する手段と、

上記の比較により得られた情報により、上記の第1のコヒーレント光の波長を調整する手段と、を備えたことを特徴とする光学的ミリ波あるいはサブミリ波の発生装置。

【請求項14】 第1のコヒーレント光（周波数 $\nu_1$ ）と第2のコヒーレント光（周波数 $\nu_2$ ）とを混合して、

その差周波数（ $\nu_1 - \nu_2$ あるいは $\nu_2 - \nu_1$ ）を持った第1の電磁信号を発生する手段を備えた装置において、Nを3以上のいずれかの整数とすると、

第1から第Nに至るそれぞれのコヒーレント光の伝搬する光路と、

第1のコヒーレント光の周波数から制御された周波数だけずれた発振周波数をもったコヒーレント光（周波数 $\nu_R$ ）と第Nのコヒーレント光（周波数 $\nu_N$ ）とを混合して、電磁信号を発生する手段と、

前記電磁信号と予め決められた高周波信号とを比較する手段と、

第2のコヒーレント光と第Nのコヒーレント光との周波数差を制御する手段と、

上記の比較により得られた情報により、上記の第1のコヒーレント光の波長を調整する手段と、を備えたことを特徴とする光学的ミリ波あるいはサブミリ波の発生装置。

【請求項15】 重ね合わされた第1ないし第Nのコヒーレント光のいずれか複数を出力する手段を備えたことを特徴とする請求項10ないし請求項14のいずれかに記載の光学的ミリ波あるいはサブミリ波の発生装置。

【請求項16】 第1ないし第Nのいずれかのコヒーレント光を混合する手段は、非線形光学効果を用いた手段であることを特徴とする、請求項10ないし請求項15のいずれかに記載の光学的ミリ波あるいはサブミリ波の発生装置。

【請求項17】 第2の電磁信号と予め決められた第1の高周波信号とを比較する手段は、第2の電磁信号の位相と第1の高周波信号の位相との差を検出する手段であることを特徴とする、請求項10ないし請求項16のいずれかに記載の光学的ミリ波あるいはサブミリ波の発生装置。

【請求項18】 第kの電磁信号と予め決められた第(k-1)の高周波信号とを比較する手段は、第kの電磁信号の位相と第(k-1)の高周波信号の位相との差を検出する手段であることを特徴とする、請求項11ないし請求項17のいずれかに記載の光学的ミリ波あるいはサブミリ波の発生装置。

【請求項19】 第1のコヒーレント光（周波数 $\nu_1$ ）と第2のコヒーレント光（周波数 $\nu_2$ ）とを混合して、その差周波数（ $\nu_1 - \nu_2$ あるいは $\nu_2 - \nu_1$ ）を持った第1の電磁信号を発生する手段を備えた装置において、Nを3以上のいずれかの整数とし、発生する電磁波には順に番号が付され、この番号の付けられた電磁波に対応する高周波信号には独自に順に番号が付されているものとするとき、第1から第Nまでのコヒーレント光（周波数 $\nu_1$ から $\nu_N$ ）のすべてか、あるいはそれらの一部をそれぞれ共通にあるいは別々に変調する手段と、

前記の変調されたコヒーレント光の側帯波を、被混合光の一部として用いることにより、第2ないし第Nのいず

(4) 003-195380 (P2003-195380A)

れかまでの電磁信号を発生する手段と、

これらの電磁信号と予め決められた第1ないし第(N-1)のいずれかまでの高周波信号とを比較する手段と、上記の比較により得られた情報により、上記の第1から第Nのいずれかまでのコヒーレント光の波長を調整する手段と、を備えたことを特徴とする請求項10ないし請求項18のいずれかに記載の光学的ミリ波あるいはサブミリ波の発生装置。

【請求項20】 上記の混合される第1のコヒーレント光の側帯波の搬送波に対する位置は、上記の混合される第Nのコヒーレント光の側帯波の搬送波に対する位置の反対側であり、また、kを3以上N以下のいずれかの整数とすると、上記の混合される第kのコヒーレント光の側帯波の搬送波に対する位置は、上記の混合される第(k-1)のコヒーレント光の側帯波の搬送波に対する位置の反対側であることを特徴とする請求項19に記載の光学的ミリ波あるいはサブミリ波の発生装置。

【請求項21】 予め決められた第1の電磁信号の周波数に対応した表で、構成されたOPLLに関わる電磁波の周波数を含む表を参照して、その電磁信号を発生する手段を調整する手段を備えたことを特徴とする請求項1ないし請求項20のいずれかに記載の光学的ミリ波あるいはサブミリ波の発生装置。

【請求項22】 予め決められた第1の電磁信号の周波数に対応した表で、ミリ波あるいはサブミリ波の発生に関わるコヒーレント光の周波数を含む表を参照して、少なくともミリ波あるいはサブミリ波の発生に関わるコヒーレント光を発生する手段を調整する手段を備えたことを特徴とする請求項1ないし請求項21のいずれかに記載の光学的ミリ波あるいはサブミリ波の発生装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、ミリ波やサブミリ波の信号源から離れた位置に、レーザ光を用いて、忠実にミリ波やサブミリ波を伝送する光学的ミリ波あるいはサブミリ波の発生装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】低周波信号やミリ波信号を、光を用いて伝送する装置としては、文献1 (J.J.D'Reilly, P.M. Lane, R. Heidemann and R.Hofstetter, "Optical generation of very narrow linewidth millimetre wave signals," Electron. Lett. 28, [25], pp.2309-2311, (1992).) に記載されたものがあり、これは、図9に示す構成をもった伝送装置である。図9は、第1の従来例を示す図であり、光源からの光線を変調器で変調して、電磁信号で変調された光線が発生し、この光線を光路に沿って伝送し、この光線を光信号から電波信号に変換する変換器に通すことにより、もとの電磁信号を再生する機能をもった、電磁信号を伝送する伝送装置のブロック図を示す図である。ここで、光源としては、レーザ光源が使

われることが多く、また、光路は光ファイバーを用いて構成されることが多い。また、変調器としては、強度変調器が使われることが多い。また、変換器としては、半導体光検出器が使われることが多い。

【0003】また、このような伝送装置で、ミリ波信号を伝送する場合は、いくつかの困難があることが知られている。例えば、変調器を駆動するために大電力のミリ波の信号を必要とするが、周波数が高くなるほどそれらを得る事が困難であり、また搬送波を抑圧するほど深い変調をかけることができないため、光変調器の帯域を超える高い周波数の変調を行うことはできなかった。このため、ミリ波の信号を伝送する場合の実用的な周波数上限は、50GHz程度であった。

【0004】また、上記のほかの構成を持った伝送装置としては、文献2 (R.T. Ramos and A.J. Seeds, "Fast heterodyne optical phase-lock loop using double quantum well laser diodes," Electron. Lett. 28, [1], pp.82-83, (1992).) に記載されたものがあり、これは、図10に示す構成をもった伝送装置である。図10は、第2の従来例を示す図であり、2台のレーザの光出力をヘテロダイン混合し、差周波にあたるミリ波周波数のビート信号を発生させ、これと同じ周波数の強度変調を光に付加する方法を用いた伝送装置を示すブロック図である。

【0005】このような伝送装置では、ビート信号の周波数精度を高めるために光位同期ループ(OPLL)などの位相比較機構を備える場合が多い。この伝送装置の特徴は、レーザ光を伝送する電磁信号で光変調しない点にある。従って、伝送できる信号帯域幅は、変調器や変調信号の帯域幅で制限されることがないことである。また、レーザ光源には小電力で発振や変調の行える半導体レーザなどを用いることができる点にある。また、光検出器の帯域は、通常、光変調器の帯域より広いので、上記の装置より高い周波数のミリ波信号を伝送することができる、という可能性を有している。

【0006】また、図10に示す伝送装置の帯域幅は、光強度検出器あるいは位相差検出器により決められることが多い。位相差検出器については、分周器と併用することによって、その周波数帯域を拡大することは可能であるが、このような改善を行っても、光強度検出器あるいは位相差検出器による帯域を超える信号を伝送することは困難であった。このため、ミリ波信号を伝送する場合の周波数上限は、100GHz程度と見込まれる。

【0007】本発明は、形態的には上記の第1の従来例の技術よりも第2の従来例の技術に近いものであるが、補助的なレーザ光源と波長変換素子を新たに用いることにより、新しい動作原理に基づいて動作する様にしたものであり、これまで動作限界とされてきた光検出器の帯域限界を超える高い周波数のミリ波あるいはサブミリ波の信号発生を容易に可能にするものである。

(5) 003-195380 (P2003-195380A)

【0008】

【発明が解決しようとする課題】上記で説明した様に、低周波信号やミリ波あるいはサブミリ波信号を含めた電磁信号を、光を用いて伝送する従来の装置では、変調器を駆動するために大電力のミリ波あるいはサブミリ波の信号を必要とする。しかし、ミリ波あるいはサブミリ波帯で、大電力の信号を得る事は困難であり、また光変調器の帯域を越える高い周波数の変調を行うことも困難であった。また、光強度検出器あるいは位相差検出器で制限される帯域を越える信号を伝送することはできない、という問題があった。

【0009】この発明は、上記に鑑み提案されたもので、電力増幅器や光変調器、あるいは光強度検出器や位相差検出器による帯域を越える信号を伝送することができる光学的ミリ波あるいはサブミリ波の発生装置を提供することを目的とする。

【0010】

【課題を解決するための手段】一般に、上記した第2の従来例のようにコヒーレント光源である2台のレーザ光のヘテロダイン混合によってミリ波の信号を発生させる場合、その周波数は、2台のレーザ光の差周波数に等しく、差周波数が大きいほど高い周波数のミリ波あるいはサブミリ波信号を発生させることができる。しかし、通常の光検出器はその動作帯域を越える高い周波数の変調信号を検出することができないため、この周波数上限が、発生できるミリ波あるいはサブミリ波信号の周波数の上限となっていた。

【0011】そこで、第1の発明では、第3のコヒーレント光と波長変換素子を新たに用意し、光領域であらかじめ波長変換を行い、ミリ波あるいはサブミリ波の変調信号を通常の光検出器でも検出可能な比較的低い周波数の変調信号に変換するものであり、第1のコヒーレント光（周波数 $\nu_1$ ）と第2のコヒーレント光（周波数 $\nu_2$ ）とを混合して、その差周波数（ $\nu_1 - \nu_2$ あるいは $\nu_2 - \nu_1$ ）を持った第1の電磁信号を発生する手段を備えた装置において、第1のコヒーレント光と第2のコヒーレント光と第3のコヒーレント光（周波数 $\nu_3$ ）とを混合する手段と、第1のコヒーレント光と第3のコヒーレント光との混合により第2の電磁信号を発生する手段と、該第2の電磁信号と予め決められた第1の高周波信号とを比較する手段と、上記の比較により得られた情報により、上記の第1のコヒーレント光の波長を調整する手段と、を備えたことを特徴としている。

【0012】また、第3のコヒーレント光源である第3のレーザ光源の波長変動の影響を抑制するために、第2の発明は、第1のコヒーレント光（周波数 $\nu_1$ ）と第2のコヒーレント光（周波数 $\nu_2$ ）とを混合して、その差周波数（ $\nu_1 - \nu_2$ あるいは $\nu_2 - \nu_1$ ）を持った第1の電磁信号を発生する手段を備えた装置において、第1のコヒーレント光と第2のコヒーレント光と第3のコヒーレ

ント光（周波数 $\nu_3$ ）を混合することにより第3の電磁信号を発生する手段と、該第3の電磁信号と予め決められた第2の高周波信号とを比較する手段と、上記の比較により得られた情報により、第3のコヒーレント光の波長を調整する手段と、を備えたことを特徴としている。

【0013】また、これらの2つの特徴を両方備えることにより、周波数のより安定したミリ波あるいはサブミリ波が得られるので、第3の発明は、第2の発明に加えて、上記の第1のコヒーレント光と第3のコヒーレント光との混合により第2の電磁信号を発生する手段と、第2の電磁信号と第1の高周波信号とを比較する手段と、この比較により得られた情報により、第1のコヒーレント光の波長を調整する手段と、を備えたことを特徴としている。

【0014】また、これらのコヒーレント光は、他の装置でも利用できる様にするために、第4の発明は、第3の発明に加えて、重ね合わされた第1のコヒーレント光と第2のコヒーレント光と第3のコヒーレント光とを出力する手段を備えたことを特徴としている。

【0015】また、第5の発明は、第1ないし第4のいずれかの発明に加えて、第1のコヒーレント光と第2のコヒーレント光と第3のコヒーレント光とを混合する手段は、四光波混合等の非線形光学効果であることを特徴としている。

【0016】また、第1のコヒーレント光源である第1のレーザ光源からの光の波長を制御するにあたり、第2の電磁信号の位相と第1の高周波信号の位相との差を検出して帰還信号とすることにより、その波長の変動を抑制することができることから、第6の発明は、第1、第3、第4あるいは第5の発明に加えて、第2の電磁信号と予め決められた第1の高周波信号とを比較する手段は、第2の電磁信号の位相と第1の高周波信号の位相との差を検出する手段であることを特徴としている。

【0017】また、第3のコヒーレント光源である第3のレーザ光源からの光の波長を制御するにあたり、第3の電磁信号の位相と第2の高周波信号の位相との差を検出して帰還信号とすることにより、その波長の変動を抑制することができることから、第7の発明は、第2、第3、第4あるいは第5の発明に加えて、第3の電磁信号と予め決められた第2の高周波信号とを比較する手段は、第3の電磁信号の位相と第2の高周波信号の位相との差を検出する手段であることを特徴としている。

【0018】また、非線形素子に入射する光をあらかじめ変調する事によって発生される側帯波を被混合光の一部として用いることにより、ミリ波あるいはサブミリ波の出力周波数を自由に変えられるようになることから、第8の発明は、第1のコヒーレント光（周波数 $\nu_1$ ）と第2のコヒーレント光（周波数 $\nu_2$ ）とを混合して、その差周波数（ $\nu_1 - \nu_2$ あるいは $\nu_2 - \nu_1$ ）を持った第1

(G) 003-195380 (P2003-195380A)

の電磁信号を発生する手段を備えた装置において、第1のコヒーレント光を変調して第1のコヒーレント光の側帯波を発生する手段と、第2のコヒーレント光を変調して第2のコヒーレント光の側帯波を発生する手段と、第3のコヒーレント光(周波数 $\nu_3$ )を変調して第3のコヒーレント光の側帯波を発生する手段と、第1のコヒーレント光の側帯波と第3のコヒーレント光の側帯波との混合により第2の電磁信号を発生する手段、あるいは、第1のコヒーレント光の側帯波と第2のコヒーレント光の側帯波と第3のコヒーレント光の側帯波との混合により第3の電磁信号を発生する手段、と、前記第2の電磁信号あるいは第3の電磁信号と予め決められた第1の高周波信号あるいは第2の高周波信号とを比較する手段と、上記の比較により得られた情報により、上記の第1のコヒーレント光の波長あるいは第3のコヒーレント光の波長をそれぞれ調整する手段と、を備えたことを特徴としている。

【0019】また、第9の発明は、第8の発明に加えて、上記の混合される第1のコヒーレント光の側帯波の搬送波に対する位置は、上記の混合される第3のコヒーレント光の側帯波の搬送波に対する位置の反対側であり、また、混合される第3のコヒーレント光の側帯波の搬送波に対する位置は、上記の混合される第2のコヒーレント光の側帯波の搬送波に対する位置の反対側であることを特徴としている。

【0020】また、第10の発明は、第1の発明のコヒーレント光の光源数を増やした構成により、多種類の電磁信号が得られることから、第1のコヒーレント光(周波数 $\nu_1$ )と第2のコヒーレント光(周波数 $\nu_2$ )とを混合して、その差周波数( $\nu_1 - \nu_2$ あるいは $\nu_2 - \nu_1$ )を持った第1の電磁信号を発生する手段を備えた装置において、Nを3以上のいずれかの整数とすると、第1から第Nに至るそれぞれのコヒーレント光の伝搬する光路と、第1のコヒーレント光と第Nのコヒーレント光(周波数 $\nu_N$ )を混合する手段と、第1のコヒーレント光と第Nのコヒーレント光との混合により第2の電磁信号を発生する手段と、該第2の電磁信号と予め決められた第1の高周波信号とを比較する手段と、上記の比較により得られた情報により、上記の第1のコヒーレント光の波長を調整する手段と、を備えたことを特徴としている。

【0021】ここで、本発明の想定するコヒーレント光の順序について説明する。簡単には、最低周波数のコヒーレント光の周波数を $\nu_2$ (あるいは $\nu_1$ )とし、最高周波数のコヒーレント光の周波数を $\nu_1$ (あるいは $\nu_2$ )として、 $\nu_1$ に向かって $\nu_2$ から順に $\nu_3, \nu_4, \nu_5, \dots, \nu_N, \nu_1$ と、することができる。しかし、本発明においては、この様に並べることに限定する理由は無い。3つのコヒーレント光を混合する場合の組み合わせを、周波数に関わらず書くことにして、たとえば、次の様に表わす。

$\langle \nu_2, \nu_3, \nu_1 \rangle$

さらに、他の組み合わせとして、 $\langle \nu_3, \nu_4, \nu_1 \rangle$ 、また、同様に、 $\langle \nu_4, \nu_5, \nu_1 \rangle$ 、これを繰り返して

$\langle \nu_{N-1}, \nu_N, \nu_1 \rangle$ 、

とすることができるとき、これらのコヒーレント光には、周波数の高低に依存しない順序が付けられる。本発明ではこのような順番を、念頭に置いている。

【0022】また、第11の発明は、第2の発明のコヒーレント光の光源数を増やした構成により、多種類の電磁信号が得られることから、第1のコヒーレント光(周波数 $\nu_1$ )と第2のコヒーレント光(周波数 $\nu_2$ )とを混合して、その差周波数( $\nu_1 - \nu_2$ あるいは $\nu_2 - \nu_1$ )を持った第1の電磁信号を発生する手段を備えた装置において、Nを3以上のいずれかの整数とし、kを3以上N以下のいずれかの整数とすると、第1から第Nに至るそれぞれのコヒーレント光の伝搬する光路と、第1のコヒーレント光から第Nのコヒーレント光(周波数 $\nu_N$ )までを混合する手段と、第1のコヒーレント光と第kのコヒーレント光と第(k-1)のコヒーレント光の混合により第kの電磁信号を発生する手段と、該第kの電磁信号と予め決められた第(k-1)の高周波信号とを比較する手段と、上記の比較により得られた情報により、第kのコヒーレント光の波長を調整する手段と、を備えたことを特徴としている。

【0023】また、これらの2つの特徴を両方備えることにより、周波数のより安定したミリ波あるいはサブミリ波が得られるので、第12の発明は、第11の発明に加えて、上記の、第1のコヒーレント光と第Nのコヒーレント光との混合により電磁信号を発生する手段と、前記の電磁信号と予め与えられた高周波信号とを比較する手段と、この比較により得られた情報により第1のコヒーレント光の波長を調整する手段と、を備えたことを特徴としている。

【0024】また、第2のコヒーレント光から幾つかのコヒーレント光を経由して第1のコヒーレント光を制御する経路には任意性があることから、第13の発明は、第1のコヒーレント光(周波数 $\nu_1$ )と第2のコヒーレント光(周波数 $\nu_2$ )とを混合して、その差周波数( $\nu_1 - \nu_2$ あるいは $\nu_2 - \nu_1$ )を持った第1の電磁信号を発生する手段を備えた装置において、Nを3以上のいずれかの整数とすると、第1から第Nに至るそれぞれのコヒーレント光の伝搬する光路と、第2のコヒーレント光の周波数から制御された周波数だけずれた発振周波数を持ったコヒーレント光(周波数 $\nu_R$ )と第Nのコヒーレント光(周波数 $\nu_N$ )とを混合して、電磁信号を発生する手段と、前記電磁信号と予め決められた高周波信号とを比較する手段と、第1のコヒーレント光と第Nのコヒーレント光との周波数差を制御する手段と、上記の比較により得られた情報により、上記の第1のコヒーレント光の波長を調整する手段と、を備えたことを特徴として

(7) 003-195380 (P2003-195380A)

いる。

【0025】また、第1のコヒーレント光から幾つかのコヒーレント光を経由して第2のコヒーレント光を制御する経路についても任意性があることから、第14の発明は、第1のコヒーレント光(周波数 $\nu_1$ )と第2のコヒーレント光(周波数 $\nu_2$ )とを混合して、その差周波数( $\nu_1 - \nu_2$ あるいは $\nu_2 - \nu_1$ )を持った第1の電磁信号を発生する手段を備えた装置において、Nを3以上のいずれかの整数とすると、第1から第Nに至るそれぞれのコヒーレント光の伝搬する光路と、第1のコヒーレント光の周波数から制御された周波数だけずれた発振周波数をもったコヒーレント光(周波数 $\nu_N$ )と第Nのコヒーレント光(周波数 $\nu_N$ )とを混合して、電磁信号を発生する手段と、前記の電磁信号と予め決められた高周波信号とを比較する手段と、第2のコヒーレント光と第Nのコヒーレント光との周波数差を制御する手段と、上記の比較により得られた情報により、上記の第1のコヒーレント光の波長を調整する手段と、を備えたことを特徴としている。

【0026】また、重ね合わされた第1ないし第Nのコヒーレント光のいずれか複数を出力してそれらを混合して電磁信号にすることにより、種々の電磁波を得る事ができることから、第15の発明は、第10ないし第14の発明に加えて、重ね合わされた第1ないし第Nのコヒーレント光のいずれか複数を出力する手段を備えたことを特徴としている。

【0027】また、第16の発明は、第10ないし第15のいずれかの発明に加えて、第1ないし第Nのいずれかのコヒーレント光を混合する手段は、非線形光学効果を用いた手段であることを特徴としている。

【0028】また、第17の発明は、第10ないし第16のいずれかの発明に加えて、第2の電磁信号と予め決められた第1の高周波信号とを比較する手段は、第2の電磁信号の位相と第1の高周波信号の位相との差を検出する手段であることを特徴としている。

【0029】また、第18の発明は、第11ないし第17のいずれかの発明に加えて、第kの電磁信号と予め決められた第(k-1)の高周波信号とを比較する手段は、第kの電磁信号の位相と第(k-1)の高周波信号の位相との差を検出する手段であることを特徴としている。

【0030】また、第19の発明は、第8の発明のコヒーレント光の光源数を増やした構成により、多種類の電磁波が得られることから、第10ないし第18の発明に加えて、第1のコヒーレント光(周波数 $\nu_1$ )と第2のコヒーレント光(周波数 $\nu_2$ )とを混合して、その差周波数( $\nu_1 - \nu_2$ あるいは $\nu_2 - \nu_1$ )を持った第1の電磁信号を発生する手段を備えた装置において、Nを3以上のいずれかの整数とし、発生する電磁波には順に番号が付され、この番号の付けられた電磁波に対応する高周波

信号には独自に順に番号が付されているものとするとき、第1から第Nまでのコヒーレント光(周波数 $\nu_1$ から $\nu_N$ )のすべてか、あるいはそれらの一部をそれぞれ共通にあるいは別々に変調する手段と、前記の変調されたコヒーレント光の側帯波を、被混合光の一部として用いることにより、第2ないし第Nのいずれかまでの電磁信号を発生する手段と、これらの電磁信号と予め決められた第1ないし第(N-1)のいずれかまでの高周波信号とを比較する手段と、上記の比較により得られた情報により、上記の第1から第Nのいずれかまでのコヒーレント光の波長を調整する手段と、を備えたことを特徴としている。

【0031】また、第20の発明は、第19の発明に加えて、上記の混合される第1のコヒーレント光の側帯波の搬送波に対する位置は、上記の混合される第Nのコヒーレント光の側帯波の搬送波に対する位置の反対側であり、また、kを3以上N以下のいずれかの整数とすると、上記の混合される第kのコヒーレント光の側帯波の搬送波に対する位置は、上記の混合される第(k-1)のコヒーレント光の側帯波の搬送波に対する位置の反対側であることを特徴としている。

【0032】また、第21の発明は、コンピュータを用いた制御装置を用いることによって、望みのミリ波あるいはサブミリ波を容易に取り出せる様にするために、第1ないし第19のいずれかの発明に加えて、予め決められた第1の電磁信号の周波数に対応した表で、構成されたOPLしに関わる電磁波の周波数を含む表を参照して、その電磁信号を発生する手段を調整する手段を備えたことを特徴としている。

【0033】また、第22の発明は、コンピュータを用いた制御装置を用いることによって、望みのミリ波あるいはサブミリ波を取り出すための設定を容易に行うために、第1ないし第18のいずれかの発明に加えて、予め決められた第1の電磁信号の周波数に対応した表で、ミリ波あるいはサブミリ波の発生に関わるコヒーレント光の周波数を含む表を参照して、少なくともミリ波あるいはサブミリ波の発生に関わるコヒーレント光を発生する手段を調整する手段を備えたことを特徴としている。

【0034】**発明の実施の形態**以下にこの発明の動作原理をまず説明し、続いて実施の形態を第1から第5の実施例として図面に基づいて詳細に説明する。なお、図において、同様の構成あるいは同様の機能をもつものについては同じ符号を用いている。

【0035】本発明の動作原理を、図1を用いて説明する。図1は、本発明の望ましい構成例を示すブロック図である。波長=1550nmのレーザ光源1、波長=1551nmのレーザ光源2、ビームスプリッタ4、光-ミリ波変換器8、とそれらを結ぶ光ファイバによる光路などがあり、上記した第2の従来例に、一部類似した構



(8) 003-195380 (P2003-195380A)

成を持っているが、従来例における光強度検出器の部分を、点線で囲まれた光位相同期部30で置き換えることにより、従来のものにない構成になっている。また、その類似した構成部分の動作は、第1のコヒーレント光源である周波数 $\nu_1$ で連続発振するレーザ光源1の出力光と、第2のコヒーレント光源である周波数 $\nu_2$ で連続発振するレーザ光源2の出力光を50:50の分岐比を有するビームスプリッタ4（ファイバーカプラ等）で重ね合わせ、その出力の一方を光ファイバー23で伝送し（光出力1）、ファイバーの終端部に設けられた光ミリ波変換器8によって、第1のコヒーレント光と第2のコヒーレント光とを混合し、ミリ波あるいはサブミリ波の電磁信号（第1の電磁信号）を発生させるものである。光ミリ波変換器8としては、1THz以下の帯域では低温成長GaAs光伝導スイッチ素子、200GHz程度以下であれば単一走行キャリア型フォトダイオード素子（UTC-PPD）などを使用することができる事が知られている。ここまでの構成や動作は、既に知られたものと類似のものである。

【0036】しかし、このような既に知られた構成のままでは、レーザ光の周波数揺らぎに起因するミリ波信号の周波数の揺らぎは避けられない。そこで、本発明においては、ビームスプリッタ4のもう一方の出力光を、第3のコヒーレント光であるレーザ光源3の出力光と非線形素子からなる波長変換器7で混合し、新たなコヒーレント光を発生させる。この波長変換器7では、主に四光波混合（FWM）の作用によって多数のコヒーレント光が発生する。発生した各光波の周波数関係を図3(c)に示す。図3(c)は、四光波混合で発生した新たな光波（短い実線で示す）のうち、例えば周波数が $(2\nu_1 - \nu_3)$ の光と、周波数が $(2\nu_3 - \nu_2)$ の光を示しており、これらは、周波数が互いに接近するため、それらの干渉信号（ビート信号）を光強度検出器9で、周波数が $f_3$ の低周波の信号（第3の電磁信号）として検出することができる。このビート信号をバンドパスフィルタ59で濾波し、発振周波数 $f_L$ のRF（ラジオ波）信号源と位相比較し、負帰還制御を施して光位相同期ループ（OPLL2）を構成している。このOPLL1の部分とは、図1に抜き出して示した様に、通常の周波数シンセサイザ等に用いられるPLLと同様の構成を持っている事がわかる。これにより、上記のビート信号と上記のRF信号を同期させるようにレーザ光源3の発振周波数は自動調整されるため、この結果、レーザ光源3の発振周波数は、次の関係を満たすように自動制御される。

【0037】

【数1】

$$3\nu_3 = 2\nu_1 + \nu_2 + f_L$$

【0038】図1における光強度検出器9の出力には、周波数が $f_2 = (\nu_1 - \nu_3)$ （光強度検出器の動作可能

な最大周波数程度の値）の高周波成分（第2の電磁信号）も含まれている。この出力をバンドパスフィルタ60で濾波し、周波数が $f_H$ のミリ波信号源と位相比較し、レーザ光源1へ負帰還制御を施してOPLL1を構成することにより、次の関係を満たすように、レーザ光源1の発振周波数は自動制御される。

【0039】

【数2】

$$\nu_1 - \nu_3 = f_H$$

【0040】なお、負帰還制御は、レーザ光源1に限定する理由はなく、レーザ光源2へ負帰還制御を施しても同様の結果が得られる。また、レーザ光源1の発振周波数がレーザ光源2の発振周波数との比較における高低によってOPLL1の信号極性が逆転するのは、通常の周波数シンセサイザ等に用いられるPLLの場合と同様に容易に理解できる。さらに、数1および数2より、次の関係が得られる。

【0041】

【数3】

$$\nu_1 - \nu_2 = 3f_H + f_L$$

【0042】ここで、レーザ光源1とレーザ光源2の発振周波数の差 $(\nu_1 - \nu_2)$ は正確に $3f_H + f_L$ に一致するため、RF信号源12やミリ波信号源13の出力を安定化させることにより、安定で高純度なミリ波の変調信号が得られることが分かる。また、 $(\nu_1 - \nu_2)$ の値は、光強度検出器の動作可能な最大周波数、 $f_H$ の3倍以上の値（ $f_L$ が $f_H$ にほぼ等しいならば約4倍の値）であり、これは、上記した従来構成には無かった特徴である。しかも、その出力であるミリ波あるいはサブミリ波の周波数を、ミリ波信号源13のミリ波出力の周波数 $f_M$ あるいはRF信号源の発振周波数 $f_L$ を変えるだけで容易に制御できる、という特徴を持っている。

【0043】波長変換素子としては、FWM（Four Wave Mixing）のほかに自己位相変調、カー効果、コヒーレントラマン効果、ソリトン効果等を含むあらゆる種類の2次の非線形媒質を用いることができるほか、カスケードされた2次非線形光学効果（cascaded second-order nonlinearity）等の効果を有する2次の非線形素子を用いることもできる。また、特に1.5 $\mu\text{m}$ の光通信波長帯においては、半導体光増幅器（SOA）や非線形ループミラー（NOLM: Nonlinear Optical Loop Mirror）、PPLN（周期的分極反転型LiNbO<sub>3</sub>）などの非線形素子が適している。

【0044】〔第1実施例〕次に第1の実施例として、マルチトーンミリ波信号発生器として動作させた光学的ミリ波あるいはサブミリ波の発生装置の例を図2に示す。この実施例における装置の構成は、図1と同様であるが、図2に示す様に、光出力2の部分に光フィルタ6

(9) 03-195380 (P2003-195380A)

と光—ミリ波変換器が設けられている点で異なっている。また、バンドパスフィルタ59、60の代わりに、ローパスフィルタ(LPF)54、55が設けられている点においても異なっているが、LPFに関しては、周波数ミキサ型の位相比較器10、11を挟んで、図1のバンドパスフィルタ59、60と同様の機能を果たす。LPFは、ループフィルタが十分に高周波信号を減衰する特性を有する場合には必要ではない。

【0045】図2のミリ波出力1には、周波数( $\nu_1 - \nu_2$ )、あるいは同じ値であるが、( $3f_H + f_L$ )の信号だけが含まれている。また、光出力2には、周波数 $\nu_1$ 、 $\nu_2$ 、 $\nu_3$ の3種類のコヒーレント光が含まれており、ミリ波出力2には、これらのコヒーレント光の混合により、( $3f_H + f_L$ )だけでなく、 $f_H$ 、( $2f_H + f_L$ )の周波数の信号も同時に得ることができる。そこで図1の光出力2にファイバブラッググレーティングなどの狭帯域バンド反射フィルタ6を挿入して、上記の3種類のコヒーレント光からひとつのコヒーレント光のみを除去した後、混合することによって、あるいはファブリ—ペロ共振器や回折格子分光器、アレイ導波路格子(AWG)などの狭帯域バンドパスフィルタを用いて上記の3種類のコヒーレント光からふたつのコヒーレント光を選択して混合することによって、3種類の信号 $f_H$ 、( $2f_H + f_L$ )、( $3f_H + f_L$ )のいずれかの信号を選択的に取り出すことができる。

【0046】また、周波数 $\nu_1$ 、 $\nu_2$ 、 $\nu_3$ のコヒーレント光を混合して、3種類の信号 $f_H$ 、( $2f_H + f_L$ )、( $3f_H + f_L$ )を含む信号を発生させ、ミリ波あるいはサブミリ波帯域のフィルタを用いて、3種類の信号 $f_H$ 、( $2f_H + f_L$ )、( $3f_H + f_L$ )のいずれかの信号を選択的に取り出すことができる。

【0047】上記の様に選択的に取り出すことは、これらのいずれの方法によっても可能であるが、一般に、ミリ波あるいはサブミリ波帯域のフィルタを用いるよりも、上記の光領域の狭帯域バンド反射フィルタあるいは狭帯域バンドパスフィルタを用いた方が、装置を小型化でき簡単な構成とすることができる。

【0048】〔第2実施例〕次に第2の実施例として、広帯域光周波数カウンタとして動作させた光学的ミリ波あるいはサブミリ波の発生装置の例を以下に示す。

【0049】図1において、いずれのレーザに対してもOPLLを実施しない場合、通常の周波数カウンタを2台使って周波数 $f_2 = (\nu_1 - \nu_3)$ 、 $f_3 = ((2\nu_3 - \nu_2) - (2\nu_1 - \nu_3))$ を正確に測定すれば、未知の光の周波数 $\nu_1$ を、数4の関係をj用いて正確に測定することができる。 $f_2$ 、 $f_3$ は、OPLL1およびOPLL2を実施した場合、それぞれ $f_H$ 、 $f_L$ に等しくなる周波数である。ただし、レーザ2の発振周波数 $\nu_2$ は、他の安定な周波数基準にロックされているなどして既知とする。また、OPLL1またはOPLL2の一方を実施し

$f_2$ 、または $f_3$ を既知としてもよく、この場合、カウンタは1台でよい。被測定信号光の周波数の範囲は、少なくとも $\pm 3f_2$ であり、最大で $\pm 4f_2$ 程度まで( $f_3$ が $f_2$ にほぼ等しい場合)測定可能である。

【0050】

【数4】

$$v_1 = v_2 + 3f_2 + f_3$$

【0051】従来の高精度光周波数カウンタでは、1台のレファレンスレーザとともに1台の被測定レーザ光を光検出器に同時に入射し、それらのレーザ光間のビート信号周波数をカウントし、その値をレファレンスレーザの光周波数の値に加算(または減算)する、という方法が採られており、被測定光の光周波数とレファレンスレーザの光周波数とは、光検出器の帯域以内に接近している必要があった。しかし、本発明の光学的ミリ波あるいはサブミリ波の発生装置を用いた周波数カウンタでは、上記の様に、被測定レーザ光とレファレンスレーザ光との周波数差は、少なくとも光検出器の帯域幅の3倍まで増やすことができるようになった。

【0052】〔第3実施例〕次に第3の実施例として、ふたつのコヒーレント光の周波数差を分周するコヒーレント光を発生する分周器として動作させた光学的ミリ波あるいはサブミリ波の発生装置の例を次に示す。

【0053】図1において、OPLL2だけを実施し、OPLL1を実施しない場合、次の関係が成り立ち、光周波数の分周器が実現できる。

【数5】

$$v_1 - v_3 = \frac{v_1 - v_2 - f_L}{3}$$

【0054】ここで、正確に分周するためには、数5において $f_L = 0$ 、である事が望ましい。しかしその周波数下限は、位相同期を行う必要性から、MHz程度の値になる。その具体的な値は、レーザ光源の種類によって異なる。しかし、このような下限近くの値においては、 $f_L \ll (\nu_1 - \nu_2)$ 、であるから近似的に、 $(\nu_1 - \nu_2) \approx 3(\nu_1 - \nu_3)$ 、が成り立っている。

【0055】ここで、数5において正確に $f_L = 0$ とするためには、ホモダインとして知られる構成とする。このためには、例えば、図4に示す構成とする。図4は、ホモダインのOPLLを実現するためのブロック図であり、図に示される様に、レーザ光源3の出力部に、光変調器32を設けて、その出力光をRF信号源(周波数 $f_1$ )の信号で位相変調する。

【0056】このOPLLの部分は、図12に抜き出して示した様に、図11に抜き出して示した実施例1のOPLLとは、レーザ光源3からの光を予めRF発振器からの信号で変調して、位相比較器としての周波数ミキサ

(特 0) 103-195380 (P2003-195380A)

において、その周波数で復調するという点で、異なっている。

【0057】これにより、周波数 $(2\nu_3 - \nu_2)$ の光と周波数 $(2\nu_1 - \nu_3)$ の光の間のビート信号には、本来のビート信号の周波数、 $f = (2\nu_3 - \nu_2) - (2\nu_1 - \nu_3)$ 、に加えて、 $f$ にRF発振器の共振周波数 $f_L$ が加わったような信号、 $f_c = f_L \pm f$ 、が得られるようになる。この後者のビート信号を $f_L$ で復調すれば、あらかじめ与えた $f_L$ での変調が打ち消され、周波数ミキサの出力に本来のビート信号 $f$ だけがそのまま現れる。そこで通常のOPLLを構成することにより、 $f=0$ 、とすることができる。この構成は、ホモダインのOPLLとして知られるものの一つであり、変調と復調の操作を行うことによって不要な直流成分を除去し、微弱なFWM光を高感度に検出することができる、という特長がある。 $f=0$ から、 $(2\nu_1 - \nu_3) = (2\nu_3 - \nu_2)$ 、が成立するため、数5で $f_L=0$ とおいたものが得られる事になる。

【0058】上記の様に、数5において $f_L=0$ 、とすることにより、 $\nu_3$ によって周波数差 $(\nu_1 - \nu_2)$ が、 $(\nu_1 - \nu_3) : (\nu_3 - \nu_2)$ について、正確に $1/3 : 2/3$ に分割される。この場合、周波数 $\nu_1$ 、 $\nu_2$ 、 $\nu_3$ のいずれも既知である必要はない。また、この実施例では $f_2$ さえ知る必要がなく、例えば、 $f_2$ は光検出器の帯域を越える周波数領域にあってもよい。また $f_L$ を $f_2$ にほぼ等しくできるならば、実質的に周波数差 $(\nu_1 - \nu_2)$ を $(\nu_1 - \nu_3) : (\nu_3 - \nu_2)$ について、 $1/4 : 3/4$ に分割できる。

【0059】【第4実施例】次に第4の実施例として、サブミリ波信号発生器として動作させた光学的ミリ波あるいはサブミリ波の発生装置の例を次に示す。

【0060】図1の構成に用いた概念を多段階に再帰的に拡張することにより、発生できる周波数をサブミリ波帯にまで拡張することができる。図5は、レーザ光源1、2のほかに、複数の補助的なレーザ光源を用いるもので、全部でN台のレーザ光源を用いて再帰的に構成した光学的ミリ波あるいはサブミリ波の発生装置のブロック図を示す。また、この $N=4$ の場合の装置で得られる出力の周波数関係を図6に示す。このような装置では、以下に説明する様に、一般にミリ波信号源からの周波数が $f_H$ の信号の約 $3^{(N-2)}$ の倍（ただし、 $N \geq 3$ とする）の周波数を持つミリ波あるいはサブミリ波信号を得る事ができる。

【0061】図5は、レーザ光源1、レーザ光源2、ビームスプリッタ4、光—ミリ波変換器8、とそれらを結ぶ光路などをもち、第1のコヒーレント光源である周波数 $\nu_1$ で連続発振するレーザ光源1の出力光と、第2のコヒーレント光源である周波数 $\nu_2$ で連続発振するレーザ光源2の出力光を50:50の分岐比を有するビームスプリッタ4（ファイバカプラ等）で重ね合わせ、その出

力の一方を光ファイバ—23で伝送し（光出力1）、ファイバ—の終端部に設けられた光—ミリ波変換器8によって第1のコヒーレント光と第2のコヒーレント光とを混合し、ミリ波あるいはサブミリ波の電磁波を発生させるものである。ビームスプリッタ4のもう一方の出力光を、第3のコヒーレント光であるレーザ光源3の出力光とビームスプリッタ5により重ね合わせ、その出力の一方を光フィルタを通じて出力し、その他の一方の出力光を、第4のコヒーレント光であるレーザ光源4の出力光とビームスプリッタにより重ね合わせる。以下同様に、再帰的にビームスプリッタとレーザ光源と光フィルタを追加して、予定の数だけレーザ光源等を追加することができる。また、ビームスプリッタ5から57を多段階的に接続する代わりに、図には示していないが、1台のスターカプラ等で代用することもできる。

【0062】予定された最後のビームスプリッタにおいては、その出力の一方を、光フィルタを通じて出力し、その他の一方の出力光を、3次の非線形素子等からなる波長変換器7へ導入し、新たなコヒーレント光を発生させる。この波長変換器7では、上記と同様に、主に四光波混合（FWM）の作用によって多数のコヒーレント光が発生する。これらのコヒーレント光の干渉の結果として得られる比較的低周波数のビート信号を光強度検出器9で検出した後、予め用意されたミリ波あるいはサブミリ波信号源からの信号やRF信号源からの信号の位相との比較を行い、得られた信号を用いて、それぞれに対応したレーザ光源の共振波長の自動調整を行うものである。

【0063】図6は、図5の構成において、4台のレーザ光源を用いた場合の、それぞれのコヒーレント光、および四光波混合光のスペクトルを示す図である。ここで、図6には波長変換器からの出力光のうち、主要なスペクトル成分のみを示している。特に、図6(a)は、レーザ光源1とレーザ光源2の周波数差をレーザ光源1とレーザ光源4の周波数差の約9倍に広げる場合を示している。図6(a)に示されるように、互いに周波数が接近する2組の四光波混合光が得られ、それらそれぞれに予め決められたRF信号（周波数 $f_{L1}$ 、 $f_{L2}$ ）に位相同期することによって、4台のレーザ間の周波数関係が確定し、正確に $f_{12} = 9f_{14} + 3f_{L2} + f_{L1}$ が成立するようになる。ここで、 $f_{12} = (\nu_1 - \nu_2)$ 、 $f_{14} = (\nu_1 - \nu_4)$ 、を示すものとする。

【0064】ここで、 $f_{14} = f_H$ となるように制御することにより、入力したミリ波の周波数 $f_{12}$ は $f_H$ の9倍に定められることになる。従来技術により、100GHz（波長 $\approx 3$ mm）程度のミリ波は容易に発生できることから、本発明の装置により、波長1/3mm程度のサブミリ波が得られることになる。また、光出力3からの光を混合することにより、 $f_H$ 、 $2f_H$ 、 $3f_H$ 、 $6f_H$ 、 $8f_H$ のマルチトーン信号も同時に得ることができる。

(11) 03-195380 (P2003-195380A)

【0065】さらにこの概念を拡張することにより、(N-2) 台の補助的なレーザを用いることにより、サブミリ波の周波数を  $f_H$  の  $2^{N-2}$  倍に拡大することが可能である。その限界は、光・ミリ波変換器の帯域の上限で定められるが、現状では、光・ミリ波変換器として低成長 GaAs 光伝導素子を用いた場合で、数 THz 程度である。この様に発生したミリ波やサブミリ波は、空間に放射しても導波管で取り出しても配線に取り出してもよい。

【0066】また、このように多数のレーザを用いる場合は、波長変換器 7 に達するまでの光路に多数のビームスプリッタの置かれたレーザ光源ほど、より大きな光強度のものを使用することが望ましい。例えば、図 6 においては、レーザ光源 3 はレーザ光源 4 よりも出力を大きくするのがよく、順次大きい順で、レーザ光源 5、レーザ光源 6・・・とすれば良い。ただし、レーザ光源 2 の光強度はレーザ光源 1 の光強度とほぼ同じ大きさにすることが望ましい。これは、光への変調度を 1 とし、効率的な伝送を行うためである。

【0067】ただし前述の方法は、OPLL を行うために十分に大きな非線形効果による変換効率を得られることが前提である。実際には周波数差が大きくなればなるほど非線形効率が小さくなるのが普通である。従って、それぞれのレーザ光源の出力の望ましい形態については、上記の大小関係に加えて、3 次の非線形効果による変換効率を考慮して決定するのが望ましい。

【0068】また、図 6 (b) に示すように、 $f_{14} = f_H$  とするとき、近似的に  $f_{43} = 2f_H$ 、 $f_{32} = 4f_H$  とすることも可能である。この場合は、 $f_H$ 、 $2f_H$ 、 $4f_H$ 、 $7f_H$  のマルチトーン信号も同時に得ることができる。この様に、ミリ波信号源や RF 信号源の周波数の組み合わせを選択することにより、マルチトーン信号の自由度を拡張することができる。そのような周波数の組み合わせと、それから得られるマルチトーン信号の組み合わせを、コンピュータを用いた制御装置に記憶しておき、希望するミリ波周波数に応じて予め記憶された設定を読み出し、それらミリ波信号源や RF 信号源の発振周波数を設定する構成とすることにより、自由にミリ波周波数を選択することができる。

【0069】また、十分に大きな 3 次の非線形効果による変換効率を得られない場合には、図 6 (c) に示すように、周波数の拡大率は 6 倍にとどめて、つまり  $f_{12} = 6f_H$  として OPLL への負担を軽減することも可能である。同図において、 $\nu_1$  と  $(2\nu_3 - \nu_2)$  の間のビート信号は、 $\nu_1$  の大きな光強度を反映して OPLL を行うために十分な強度となる。 $\nu_1$  および 3 つの四光波混合光から得られる 2 つのビート信号を、それらそれぞれに予め決められた RF 信号 (周波数  $f_{L1}$ 、 $f_{L2}$ ) に位相同期することによって、4 台のレーザ間の周波数関係が確定し、正確に  $f_{12} = 6f_{L1} + 2f_{L2} + f_{L1}$  が成立するよ

うになる。ここで  $f_{14} = f_H$  となるように制御することにより、入力したミリ波の周波数  $f_{12}$  は  $f_H$  の 6 倍に高められることになる。さらに、同時に得られるマルチトーン信号は、 $f_H$ 、 $2f_H$ 、 $3f_H$ 、 $5f_H$  である。

【0070】〔第 5 実施例〕次に第 5 の実施例として、発生できる周波数領域をさらに拡張した光学的ミリ波あるいはサブミリ波の発生装置の例を図 7 に示す。この例では、上記の図 1、図 2、あるいは図 5 の構成に、さらに光変調器 18 を組み合わせて用いることにより、発生できる周波数領域をさらに拡大したものである。

【0071】図 7 の構成では、図 1 の構成におけるビームスプリッタ 5 の出力の一方を光フィルタに送り、他方を光変調器 18 に送る。この光変調器 18 では入射光を周波数  $f_m$  の RF 信号で変調した後、3 次の非線形素子等からなる波長変換器 7 で混合し、それから光強度検出器 9 により、低周波数の信号 (周波数  $f_2$  の第 2 の電磁信号、および周波数  $f_3$  の第 3 の電磁信号) に変換するものである。

【0072】3 台のレーザ光源からのコヒーレント光は、あらかじめ周波数  $f_m$  の強度変調を付加したとすると、それぞれの線スペクトルは周波数間隔  $f_m$  を隔てて新たに 2 本のサイドバンド光を伴うようになる。そこでこれら計 9 本の線スペクトルを 3 次の非線形媒質に導入すると、FWM によってさらに多くの線スペクトルが発生する。この中から主要なものだけを抜き出して描いたものが図 8 である。この例では、まず、 $\nu_{11}$  と  $\nu_{32}$  から発生する周波数  $2\nu_{11} - \nu_{32}$  の FWM 光と、 $\nu_{32}$  と  $\nu_{21}$  から発生する周波数  $2\nu_{32} - \nu_{21}$  の FWM 光は周波数が接近するので、これらを OPLL2 を使って周波数が  $f_L$  の RF 信号源に対して位相同期をかけることができる。さらに  $\nu_{12}$  と  $\nu_{21}$  の差周波を OPLL1 を使って周波数が  $f_H$  のミリ波信号源と位相同期をかけると、つぎの関係が成り立つ様になる。

【0073】

〔数 6〕

$$\nu_1 - \nu_2 = 6f_m + 3f_H + f_L$$

【0074】このようにして、 $f_H$  の 3 倍に  $f_m$  の 6 倍を加えたものにほぼ等しい周波数を持つミリ波またはサブミリ波の発生が可能になる。ここで、 $f_m$  としては自由な値をとれるので、 $f_H$  や  $f_L$  が固定された環境においても ( $\nu_1 - \nu_2$ ) の値を自由に設定することができる。ここでは、変調器 18 として強度変調器を用いて説明したが、その代わりに光位相変調器を使用することもできることは明らかである。

【0075】また、図 7 では、波長変換器の直前に光変調器を配置しているが、光変調器を各レーザ光源の直後に配置したり、あるいはレーザ光源を駆動する電流に直接変調を与えて同様の効果を得ることも可能である。ただし、これらの場合、光出力 1 には変調によって発生す

(J 2) 03-195380 (P2003-195380A)

るサイドバンド光が混入することになるので、光フィルタ等を用いてこれらを除去する必要がある。

【0076】また、光源となるレーザとしてモード同期レーザ等のパルスレーザや2モード発振レーザ等を用いることにより、光変調器を用いずに、光変調器を用いる場合と同様の効果を得ることも可能である。ただし、パルスレーザを用いる場合のパルス間隔は、OPLLの応答可能時間よりも十分に短いことが必要である。また、パルスレーザを用いる場合は、光パルスを電気信号に変換した時に得られる最高次の信号を、上記の場合の変調信号とみなすことができる。

【0077】以上の実施の形態においては、レーザ光源の近くで光学的にミリ波あるいはサブミリ波を発生する装置について説明したが、レーザ光源と光—ミリ波変換器は、光ファイバで結ばれているために、遠隔地であっても、上記の機能を発揮することができる。例えば、ミリ波やサブミリ波を必要とする電波天文学などをはじめとする分光学的研究において、複数の離れた場所に同一周波数で高安定・高純度で、且つ、周波数可変なミリ波やサブミリ波を容易に供給することができる。

【0078】さらに、半導体レーザでは、供給電流や印加電圧を変化させることによって、その発振周波数を変化させることができることが知られている。このため、各レーザ装置を制御するコンピュータを用いて、希望するミリ波周波数とそのために必要な倍率が指定されると、あらかじめプログラムされた周波数配置になるように、コンピュータが各レーザの発振周波数を自動的に設定する構成とすることが望ましい。このような構成においては、望ましい周波数配置が得られた後、OPLLを機能させる。

【0079】

【発明の効果】この発明は上記した構成からなるので、以下に説明するような効果を奏することができる。

【0080】第1の発明は、第3のコヒーレント光と波長変換素子を新たに用意し、光領域であらかじめ波長変換を行い、ミリ波あるいはサブミリ波の変調信号を通常の光検出器でも検出可能な比較的低い周波数の変調信号に変換することを目的としたものであり、第1のコヒーレント光（周波数 $\nu_1$ ）と第2のコヒーレント光（周波数 $\nu_2$ ）とを混合して、その差周波数（ $\nu_1 - \nu_2$ あるいは $\nu_2 - \nu_1$ ）を持った第1の電磁信号を発生する手段を備えた装置において、さらに、第1のコヒーレント光と第2のコヒーレント光と第3のコヒーレント光（周波数 $\nu_3$ ）とを混合する手段と、第1のコヒーレント光と第3のコヒーレント光との混合により第2の電磁信号を発生する手段と、該第2の電磁信号と予め決められた第1の高周波信号とを比較する手段と、上記の比較により得られた情報により、上記の第1のコヒーレント光の波長を調整する手段とを備えた光学的ミリ波あるいはサブミリ波の発生装置としたので、光領域であらかじめ波長変

換を行うことができるようになり、第2の電磁信号のほぼ3倍の周波数をもった電磁波を発生することができる様になった。

【0081】また、第2の発明では、第1のコヒーレント光（周波数 $\nu_1$ ）と第2のコヒーレント光（周波数 $\nu_2$ ）とを混合して、その差周波数（ $\nu_1 - \nu_2$ あるいは $\nu_2 - \nu_1$ ）を持った第1の電磁信号を発生する手段を備えた装置において、さらに、第1のコヒーレント光と第2のコヒーレント光と第3のコヒーレント光（周波数 $\nu_3$ ）とを混合することにより第3の電磁信号を発生する手段と、該第3の電磁信号と予め決められた第2の高周波信号とを比較する手段と、上記の比較により得られた情報により、第3のコヒーレント光の波長を調整する手段と、を備えた光学的ミリ波あるいはサブミリ波の発生装置としたので、第2の電磁信号のほぼ3倍の周波数をもった安定した電磁波を発生することができる様になった。

【0082】また、第3の発明では、第2の発明に加えて、上記の第1のコヒーレント光と第3のコヒーレント光との混合により第2の電磁信号を発生する手段と、第2の電磁信号と第1の高周波信号とを比較する手段と、この比較により得られた情報により、第1のコヒーレント光の波長を調整する手段と、をさらに備えたので、第2の電磁信号のほぼ3倍の周波数をもった、より安定した電磁波を発生することができる様になった。

【0083】また、第4の発明では、第3の発明に加えて、重ね合わされた第1のコヒーレント光と第2のコヒーレント光と第3のコヒーレント光とを出力する手段をさらに備えたので、種々の周波数の電磁信号を利用し易くなった。

【0084】また、第5の発明では、第1ないし第4のいずれかの発明に加えて、第1のコヒーレント光と第2のコヒーレント光と第3のコヒーレント光とを混合する手段は、四光波混合等の非線形光学効果であるように構成したので、第3の電磁信号の周波数を低く抑えることができ、装置が簡単になった。

【0085】また、第6の発明では、第1、第3、第4あるいは第5のいずれかの発明に加えて、第2の電磁信号と予め決められた第1の高周波信号とを比較する手段は、第2の電磁信号の位相と第1の高周波信号の位相との差を検出する手段であるように構成したので、既に良く知られた位相差検出回路を用いて、レーザ光源からの光の波長を制御することができるようになった。

【0086】また、第7の発明では、第2、第3、第4あるいは第5の発明に加えて、第3の電磁信号と予め決められた第2の高周波信号とを比較する手段は、第3の電磁信号の位相と第2の高周波信号の位相との差を検出する手段であるように構成したので、既に良く知られた位相差検出回路を用いて、レーザ光源からの光の波長を制御することができるようになった。

(43) 03-195380 (P2003-195380A)

【0087】また、第8の発明では、非線形素子に入射する光を変調する事により、ミリ波あるいはサブミリ波の出力周波数をさらに自由に換えられるようになった。

【0088】また、第9の発明では、周波数軸上において被混合光のそれぞれの位置関係を明確にしたので、ミリ波あるいはサブミリ波の周波数をさらに高めることができるようになった。

【0089】また、第10ないし第14のそれぞれの発明では、第1あるいは第2の発明と比べてコヒーレント光の光源数を増やした構成になったので、さらに多種類の電磁波が得られるようになった。

【0090】また、第15の発明では、重ね合わされた第1ないし第Nのコヒーレント光のいずれか複数を出力してそれらを混合して電磁信号にすることにより、種々の電磁波を得る事ができるようになった。

【0091】また、第16の発明では、コヒーレント光を混合する手段は、非線形光学効果を用いた手段としたので、差周波数が大きい場合でも効果的に混合することができ、容易に種々の電磁波を得る事ができるようになった。

【0092】また、第17あるいは第18の発明では、位相同期ループ回路を用いて周波数を一致させることができるようになったので、周波数の一致が正確になった。

【0093】また、第19の発明では、コヒーレント光の光源数を増やした構成になったので、第8の周波数領域をさらに広げることができる様になった。

【0094】また、第20の発明では、周波数軸上において被混合光のそれぞれの位置関係を明確にしたので、ミリ波あるいはサブミリ波の周波数をさらに高めることができるようになった。

【0095】また、第21あるいは第22の発明では、コンピュータを用いた制御装置を用いることによって、望みのミリ波あるいはサブミリ波を容易に取り出せる様になった。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の望ましい構成例を示すブロック図である。

【図2】本発明の望ましい構成例を示すブロック図である。

【図3】第1のコヒーレント光と第2のコヒーレント光と第3のコヒーレント光の四光波混合で発生した新たな光波のうち、周波数が $(2\nu_1 - \nu_3)$ と、 $(2\nu_3 - \nu_1)$ の光の周波数関係を示す図である。

【図4】ホモダインのOPLLを実現するためのブロック図である。

【図5】全部でN台のレーザ光源を用いて再帰的に構成した光学的ミリ波あるいはサブミリ波の発生装置のブロック図である。

【図6】4台のレーザ光源を用いた場合の、それぞれのコヒーレント光の四光波混合によるスペクトルを示す図である。

【図7】発生できる周波数領域をさらに拡張した光学的ミリ波あるいはサブミリ波の発生装置のブロック図である。

【図8】発生できる周波数領域をさらに拡張した光学的ミリ波あるいはサブミリ波の発生装置から得られる多くの線スペクトルのうち、主要なものだけを抜き出した図である。

【図9】第1の従来例を示す図である。

【図10】第2の従来例を示す図である。

【図11】OPLL部分を示すブロック図である。

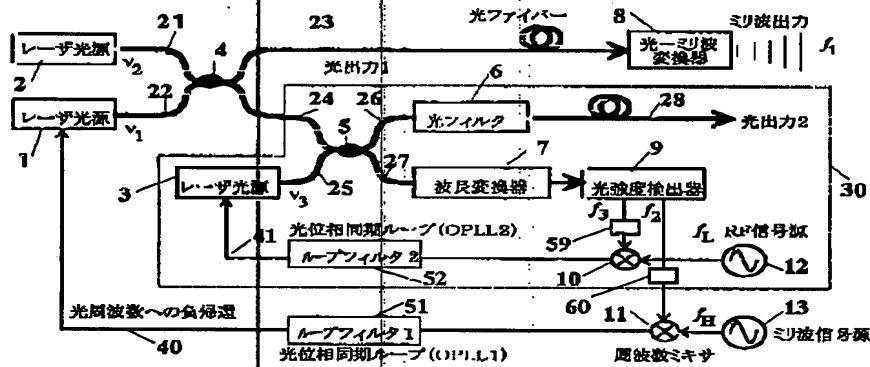
【図12】ホモダインのOPLL部分を示すブロック図である。

【符号の説明】

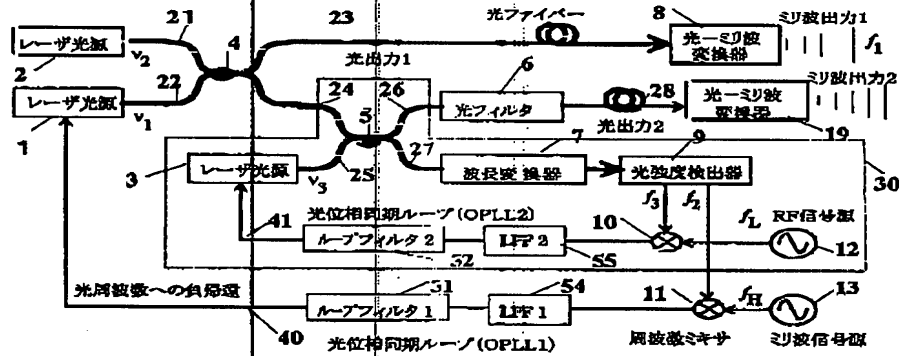
- 1、2、3 レーザ光源
- 4、5 ビームスプリッタ
- 6 光フィルタ
- 7 波長変換器
- 8 光-ミリ波変換器
- 9 光強度検出器
- 10、11 位相比較器
- 12 RF信号源
- 13 ミリ波信号源
- 14 増幅器
- 15 RF信号源
- 16 光強度変調器
- 17 電力増幅器
- 18 光変調器
- 19 光-ミリ波変換器
- 21、22、23、24、25、26、27、28 光ファイバ
- 30、31 光位相同期部
- 32 光変調器
- 40 光位相同期ループフィルタ
- 50 レーザ光源
- 51、52、53 ループフィルタ
- 54、55、56 ローパスフィルタ
- 57 ビームスプリッタ
- 58 光フィルタ
- 59、60 バンドパスフィルタ

(14) 03-195380 (P2003-195380A)

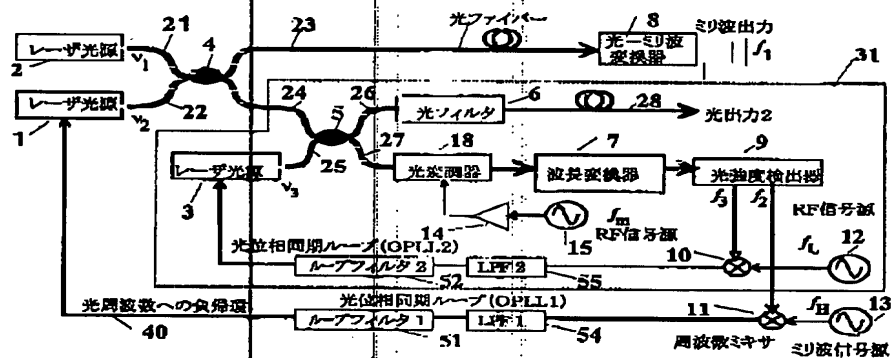
【図1】



【図2】

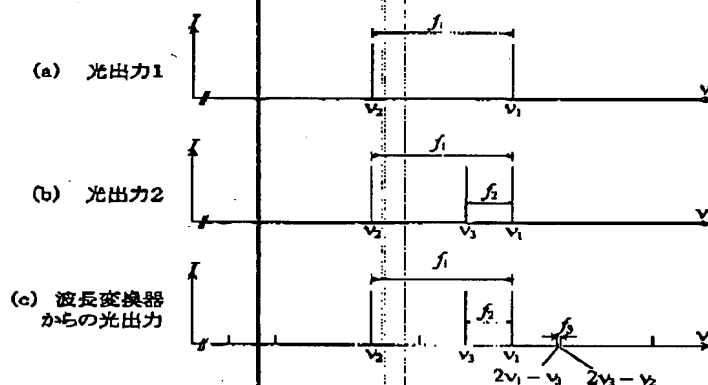


【図7】

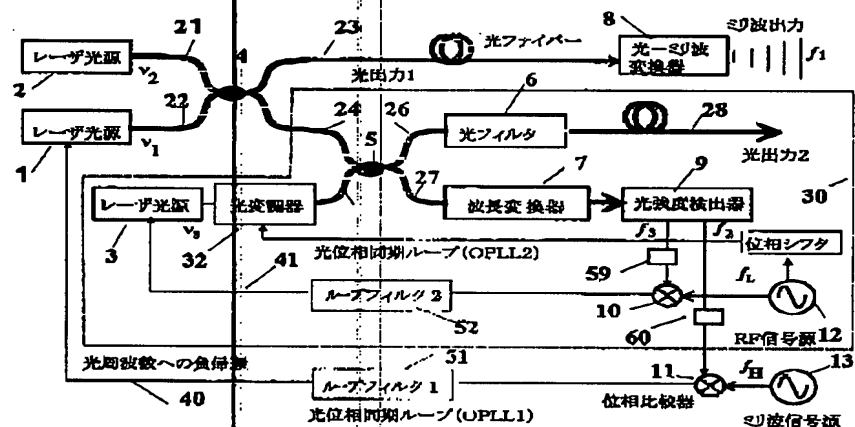


(45) 103-195380 (P2003-195380A)

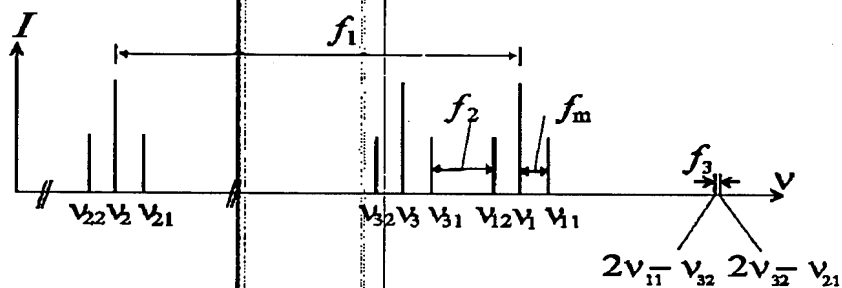
【图3】



【图4】



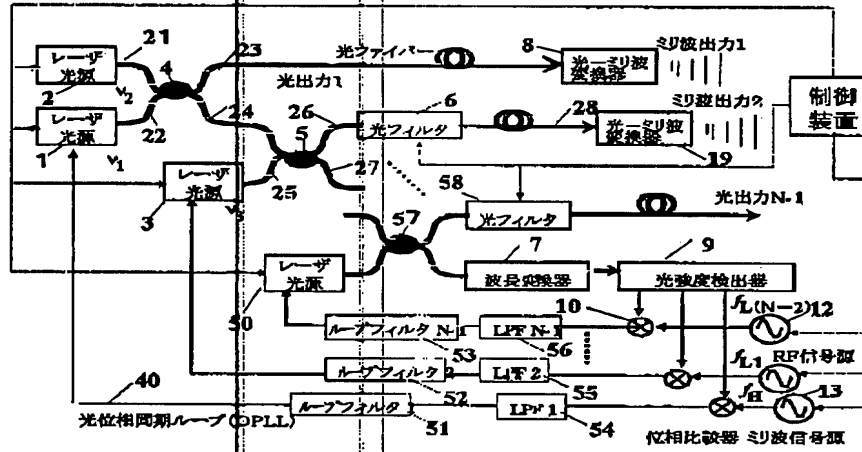
【例8】



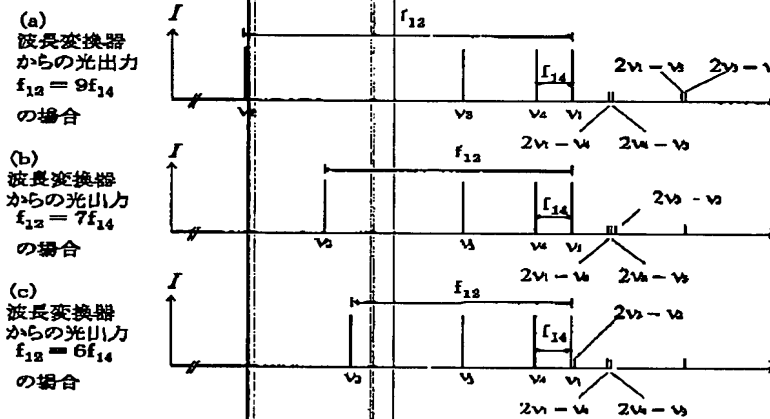


(特 6) 103-195380 (P2003-195380A)

【図5】

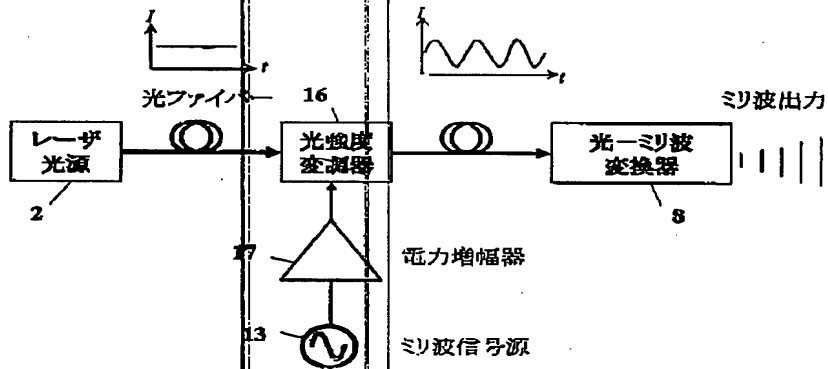


【図6】

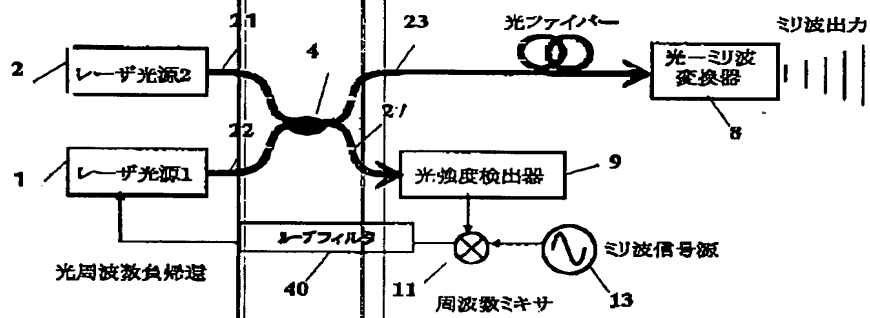


(17) 03-195380 (P2003-195380A)

【図9】

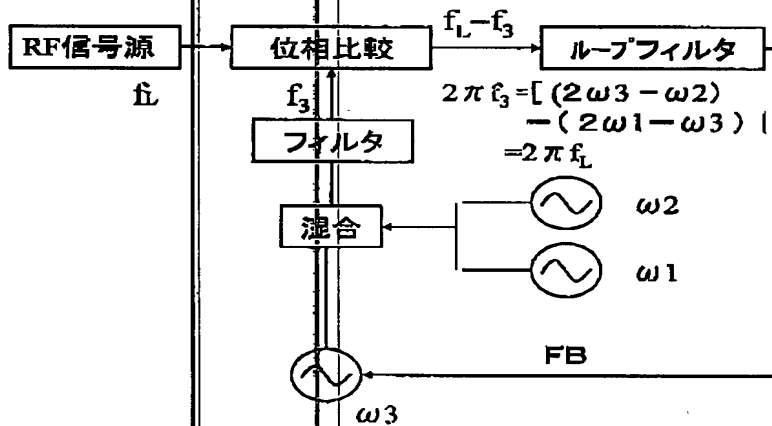


【図10】

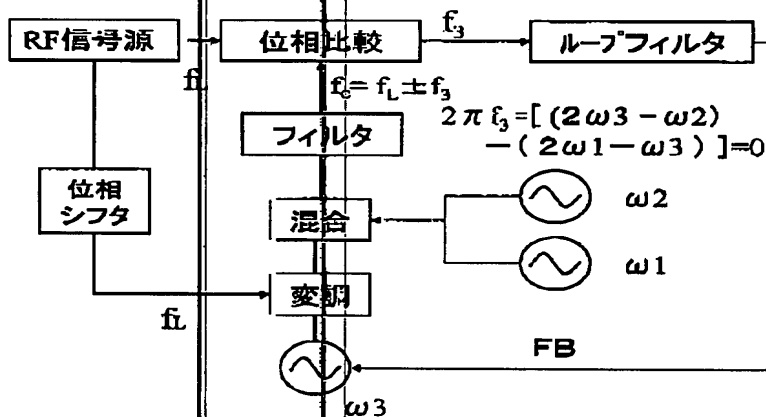


(特 8) 03-195380 (P2003-195380A)

【図11】



【図12】



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☒ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:**

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**